



**SODECOTON**

Projet Protection des  
Sols - Eau Sol Arbre



# **Appel d'offres AFD – MAEE – CIRAD Programme d'Appui Multipays pour l'Agroécologie - PAMPA CAMEROUN**

**GT1 : Evaluation du stockage de carbone par  
les sols sous SCV.**

*Implications agronomiques*

**Rapport de mission à la SODECOTON  
Garoua-Maroua 6-19 juillet 2010**



**Patrice AUTFRAY  
UR SCV  
CIRAD**

## Remerciements

Nous remercions le responsable du Projet PCS-ESA2, Abou Abba, d'avoir permis le déroulement de ces activités, sans oublier toutes les personnes du Cameroun engagées dans ce Projet, ainsi que les techniciens de terrain et les agriculteurs rencontrés lors de cette tournée.

Nous saluons la très bonne organisation de la mission et l'implication permanente d'Oumarou Balarabé, responsable de la Recherche Adaptative.

Les différentes interventions de Francis Forest, responsable de l'UR SCV, ont permis de créer ce collectif de recherche et d'obtenir en temps voulu les moyens nécessaires à son bon déroulement.

Enfin, merci à Lucien Séguy, inspirateur de ces systèmes ....

## Quelques abréviations

C : carbone du sol ; équivalent de MOS dans le rapport ( $\%C = MOS / 1.73$ )

CEC : Capacité d'Echange Cationique

Cirad : Centre International de Recherche Agronomique

EG : Eléments Grossiers

EMP : Expérimentations en Milieu Paysan

ESA : Eau-Sol-Arbre

GT : Groupe de Travail

IRAD : Institut de Recherche Agronomique pour le Développement

IRD : Institut de Recherches pour le Développement

$K_1$  : coefficient d'humification d'un apport organique

$K_2$  : coefficient de minéralisation du sol

MOS : matières organiques du sol ; équivalent de C du sol dans le rapport ( $\% MOS = C * 1.73$ )

N : azote du sol ou d'un résidu

P : phosphore dans le sens assimilable

PCS : Projet de Conservation des Sols

SCV : Semis-direct sur couvertures végétales

SE : Sites Expérimentaux

SODECOTON : Société de Développement du Coton

UR : Unité de Recherches

UMR : Unité Mixte de Recherches

## Résumé

Cette mission s'inscrit dans les activités PAMPA financées par l'AFD, le MAEE et le Cirad au niveau du GT1 « Evaluation du stockage de carbone par les sols sous SCV ». Elle réunit 3 partenaires, la SODECOTON et son équipe du Projet PCS-ESA2 (O.Balarabé et G.Dourwé), l'IRD (M.Bernoux et D.Brunet) de l'UMR Eco&Sols, et l'UR SCV (P.Autfray et O.Husson). Elle a été permise grâce au montage d'un binôme de stagiaire, M.Passale (Université de Dschang) et B.Saignant (Université d'Amiens).

Les différents objectifs sont de valoriser le dispositif du projet PCS-ESA mis en place au niveau de la SODECOTON depuis 2001 avec pour l'essentiel un réseau de parcelles en milieu réel contrôlées (Sites Expérimentaux) ou suivies (Expérimentation en Milieu Paysan). Un bilan sur les modalités de stockage en C du sol sous SCV sera effectué en comparaison avec les pratiques conventionnelles.

La méthodologie utilisée s'est inspirée de celle mise en place sur les autres terrains PAMPA où sont réalisées les mêmes campagnes de prélèvements avec notamment des prélèvements réalisés sur les 40 premiers centimètres de sol, une détermination systématique des densités apparentes sur cette même profondeur permettant une évaluation des stocks en C du sol à masse constante et des prélèvements avec un nombre de répétitions significatif permettant des analyses statistiques. L'ajout de parcelles de référence de sols en Zones Non Cultivées permettra de connaître le potentiel de stockage des sols.

Cette mission avait comme objectif de préparer la campagne de prélèvements d'environ 2.000 échantillons de sol réalisés sur le dispositif pérennisé du Projet PCS-ESA2 promouvant les SCV.

Elle sera suivie au cours du mois de septembre avec des analyses. La valorisation de ce travail sera premièrement le fait de stagiaires ayant réalisé l'essentiel des opérations de terrain ainsi que les analyses en laboratoire. D'autres valorisations sont prévues : rapport PAMPA, articles dans revues camerounaises, revues scientifiques francophones, type Etude et Gestion des Sols ou Base, revues à facteur d'impact, ..... Elles engageront le collectif de recherches constitué par les 3 partenaires.

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 PAMPA GT1 : Evaluation du stockage de carbone par les sols sous SCV : méthodologie de modélisation de la séquestration du carbone

Ce Programme d'Appui Multipays pour l'Agroécologie (PAMPA) répond à l'appel d'offres AFD – MAEE – CIRAD au regard des terrains où sont pratiqués des SCV en grandeur réelle, à savoir au Brésil, à Madagascar, au Laos, en Tunisie, au Vietnam et au Cameroun. Le responsable du GT1 est Martial Bernoux, IRD, de l'UMR Eco&Sols basée à Montpellier. Au niveau du Cameroun le responsable pour l'ensemble des activités PAMPA qui ont 4 GT (Groupe de Travail) est Oumaré Balarabé, SODECOTON / IRAD responsable de la Recherche Adaptative au niveau du Projet PCS-ESA2. A sa demande il a été demandé à l'UR SCV qui collabore depuis le début des expérimentations SCV en 2001 avec ce projet, de s'impliquer, avec la participation de Patrice Autfray, de part son expérience sur le Projet SCV Mali (2005-2007) localisé également en zone cotonnière et sa spécialisation en sciences du sol (thèse écologie des sols).

Plusieurs réunions de travail dont la dernière en septembre 2010 ont permis ensemble de s'entendre à la fois :

- sur une base de protocole commun aux travaux sur les différents pays du GT1 ;
- de renforcer les ressources humaines d'expérience, avec Didier Brunet au niveau de l'IRD, Gaston Dourwé au niveau de la SODECOTON et Olivier Husson au niveau de l'UR SCV ;
- sur l'encadrement de deux stagiaires, Muller Passale, de l'Université de Dschang au Cameroun (stage post-ingénieur) et Bertrand Saignant, de l'Université d'Amiens (Master).

Le calendrier de mission est mentionné au niveau du Tableau 1.

## 1.2 Acquis agronomiques avec SCV

Les rapports d'activités du Projet ESA1, puis ESA2, puis PCS-ESA2 de 2001-2009 ainsi que les différentes communications et articles montrent un potentiel d'amélioration important soit dès les premières années (situations sèches) ou au bout de quelques années (quelque soit la zone climatique) d'amélioration de la productivité de la terre et du travail sous SCV, notamment quand ces systèmes sont comparés avec le semis-direct, mode de gestion des sols et des cultures le plus couramment pratiqué dans la zone cotonnière du Cameroun. Dans le cadre de la rotation biennale coton-sorgho (extrême-nord, 700 à 800 mm) ou coton-maïs (nord, 900 à 1200 mm), le semis de coton est en SCV principalement réalisé à travers une couverture végétale provenant de la production et la conservation *in-situ* de biomasses produites dans le cadre de cultures associées céréale-plantes de couverture. Les plantes de couverture se divisent généralement en 4 principales catégories :

- graminée fourragère à puissant système racinaire, comme *Brachiaria ruziziensis* ;
- légumineuse non fourragère érigée comme *Crotalaria retusa* ;
- légumineuse fourragère érigée comme *Stylosanthes guianensis* ;
- légumineuse faiblement volubile comme *Mucuna spp.*

Un des principaux acquis techniques (depuis 2002) est la bonne maîtrise des associations sorgho-brachiaria, maïs-crotalaire, avec lesquelles des augmentations de biomasse importantes sont obtenues par aux systèmes conventionnels en conservant un niveau semblable de fertilisation. Ces associations permettent un niveau de rendement similaire ou supérieur en céréales, avec une production supplémentaire de plante de couverture (Oumarou et al., 2010 ; Naudin et al., 2010).

Le PCS-ESA2 comprend la Recherche-Adaptative, la Diffusion, la Production Semencière. La Recherche-Adaptative travaille au niveau de Sites Expérimentaux (SE), d'Expérimentation

en Milieu Paysan (EMP) et au niveau de Terroirs Tests. Sur les SE sont créés et évalués les SCV sur des parcelles gérées par de la main d'œuvre. Ils totalisent environ 30 ha répartis sur 4 sites et comprennent une large gamme de systèmes, dont certains sont renouvelés chaque année. Les EMP sont gérées par les paysans, suivies par des techniciens et un nombre limité de SCV sont comparés aux Systèmes conventionnels sur de grandes parcelles (0.25 ha). Leur nombre fluctue chaque année. 4 Terroirs Tests font l'objet d'intégration des SCV à l'échelle de territoires villageois (voir Annexe 1). Le *Brachiaria ruzisiensis* demeure la principale plante de couverture utilisée dans les Expérimentations en Milieu Paysan et en Diffusion en raison notamment de la relative facilité de production semencière. Elle offre un bon contrôle des adventices et une bonne couverture de sol avant le semis du coton (voir Figure 1). Avec ses potentialités fourrages un partage entre biomasse pour le sol et le fourrage peut-être envisagé. Son système racinaire fasciculé et abondant en surface peut à la fois rapidement offrir une source en C pour le sol et faciliter l'agrégation du sol.

### 1.3 Calendrier de mission

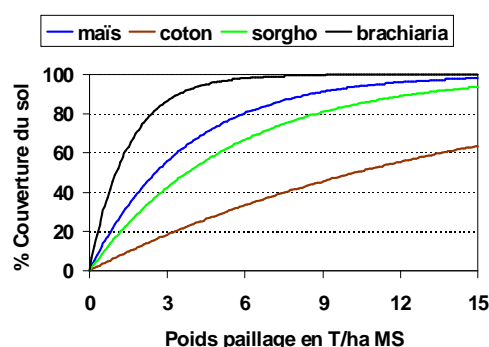
**Tableau 1. Calendrier de mission**

Date	Lieu	Personnes	Remarques
06/07/2010	Montpellier- Douala	.Oumarou Balarabé (OB) responsable Recherche-Adaptative	Voyage avec matériel pour les prélèvements
07/07/2010	Douala - Garoua		
07/07/2010	N Garoua Sodécoton	Abou Abba (Responsable Projet PCS-ESA) OB + Gaston Dourwé (GD) : Responsable extrême-nord sols exondés Jean-Pierre Mvondo Awono : enseignant-chercheur Université de Dschang – Antenne de Maroua Hassana : responsable région Garoua – Guider Stagiaires : Bertrand Saignant (BS) et Muller Passale (MP)	Point logistique et ajustement des situations à étudier Point méthodologique Point bibliographique Point calendrier stagiaires en France (août)
08/07/2010	N Windé Pintchoumba et Pintchoumba	OB + GD + stagiaires + responsable sites expérimentaux	Définition de la superficie de prélèvement Choix de situations sur site expérimental Contrainte de prélèvement en période trop humide
09/07/2010	N Garoua	Dominique Olivier (DO) : assistant technique diffusion	
10/07/2010	EN Mbozzo	OB + GD + DO + BS + MP	Contrainte de prélèvement en période trop sèche
11/07/2010	EN Koza / Mbanbang	OB + GD + DO + BS + MP Halifa Mahamat: responsable expérimentations sur vertisols (HM)	Choix de situations sur EMP Identification d'une zone protégée : forêt de Mozogo Début des prélèvements
12/07/2010	EN Kilwo / Maroua (ETA)	OB + GD + DO + BS + MP	Choix de situations sur site expérimental Mise au point méthodologie avec tarière brésilienne et prélèvements sur sols gravillonnaires
13/07/2010	EN Moutouroua / Kaélé / Zouana / Sirlawé	OB + GD	Identification de 2 zones protégées : Kaélé et Sirlawé Choix de situations sur site expérimental et EMP Méthodologie de prélèvements sur état de surface billonné et adaptée aux sols fortement gravillonnaires Spécificité des 3 auréoles de fertilité à Sirlawé
14/07/2010	Maroua-Garoua	OB	Visite site expérimental de Pitoa
15/07/2010	Garoua	OB	Point documentaire Début rédaction de rapport et préparation de restitution
16/07/2010	Garoua	OB + GD + HM + DO + BS + MP	Restitution
16/07/2010	Garoua - Douala		Voyage avion
17/07/2010	Douala		Fin de rédaction de rapport
18-19/07/2010	Douala – Paris - Montpellier		Voyage avion

## 1.4 Effets attendus des SCV Implications agronomiques et environnementales

### - A l'échelle de la campagne

Les effets de réduction sur de l'évapotranspiration du sol avec la présence de couvertures végétales sont bien connus. Cette réduction de l'évapotranspiration du sol est proportionnelle au taux de couverture du sol. Cette couverture du sol dépend de la quantité et de la qualité du résidu : plus le résidu est fin mieux il couvre : par exemple le *Brachiaria ruzisiensis* a un bon taux de couverture du sol puisqu'avec 3 tonnes nous avons 90% de couverture alors qu'avec le coton il faut environ 15 tonnes pour avoir environ un taux de couverture dépassant les 60% (Figure 1). Cette augmentation de l'humidité en surface peut donc permettre une meilleure satisfaction des besoins en eau et ainsi en azote minéral.



**Figure 1. Relation entre quantité de paillage et taux de couverture du sol pour différents types de résidus ; données Projet SCV Mali .**

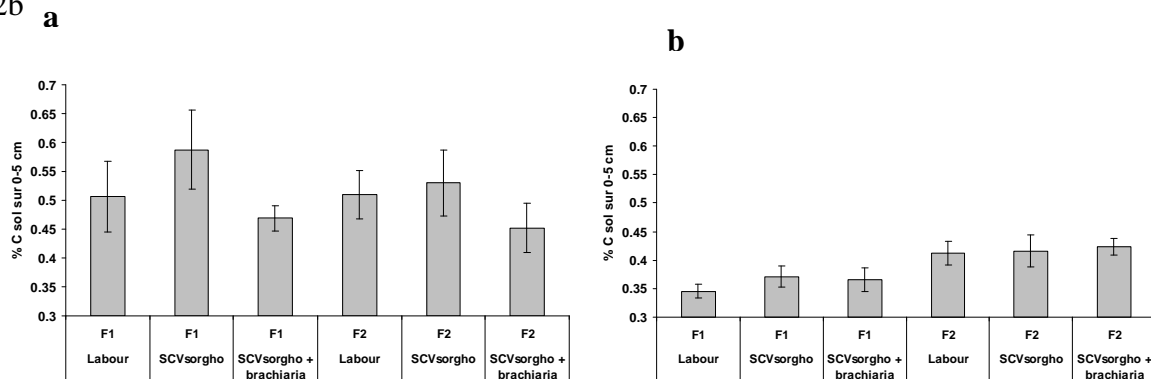
Globalement l'effet de la couverture du sol par le paillage a un effet de conservation des MOS en surface. En effet la réduction de la température du sol en surface en saison des pluies limite fortement le taux de minéralisation du C du sol, ce qui compenserait largement l'augmentation de l'humidité du sol facteur favorisant la minéralisation du C. Bayer et al. (2006) ont montré que cet effet de réduction du  $k_2$  du sol est essentiel pour expliquer le stockage sous SCV par rapport aux systèmes conventionnels.

### - Dès les premières années

Effets sur l'agrégation. Il est montré dans la littérature que globalement le *Brachiaria* a un effet important sur l'agrégation (Lal, 1979). Cela a été confirmé au niveau du Projet par Adoum Oumarou (2005) par des mesures d'infiltration sur sol sous SCV. L'agrégation a un effet important sur les modalités de stockage du C du sol, notamment au niveau des macroagrégats. L'agrégation a un pouvoir de protection des MOS et donc limite la minéralisation du C du sol en surface.

Cependant sous SCV, les effets sur les stocks en surface les premières années sont parfois difficiles à comprendre en relation certainement avec les populations microbiennes qui contrôlent la transformation progressive des résidus de culture et des racines, avec un continuum évoluant vers des tailles de plus en plus petites, des molécules de plus en plus complexes, associées de plus intimement aux argiles et micro-organismes pour former des microagrégats.

Un exemple est montré au niveau de la Figure 2a, on l'on voit au niveau d'un sol limoneux une tendance de baisse des stocks à court terme avec le système sorgho-brachiaria, fort producteur de biomasse. Le système sorgho seul en SCV (apport de tiges de sorgho) semble par ailleurs plus stocker. Nous pensons qu'il s'agit là d'effets liés à une minéralisation accrue des MOS existantes sous l'effet *priming-effect* lié à l'activité des micro-organismes qui vont chercher de l'N minéral dans les MOS existantes suite à un apport massif de C car l'N minéral des résidus et du sol sont insuffisants. Au niveau de la Figure 2 b on voit une illustration de l'effet d'apport de fumure organique ayant été apporté sur l'ensemble du niveau F2 (Figure 2b



**Figure 2. Effets comparés systèmes conventionnels et SCV après 2 années sur 0-5 cm ; données Projet SCV Mali ; a : sol limoneux dégradé ; b : sol sableux dégradé**

- Au bout de 4 à 5 années

Les effets des MOS sont multiples et certainement à l'origine des différences de rendement relevées sous SCV et plus particulièrement sur les sols sableux :

- agrégation : relation entre taux en MOS et % agrégats stables (Lal, 1979) ;
- source en nutriments : fraction grossière des MOS libres issues des résidus (> 50µm) ;
- relèvement de la Capacité d'Echange Cationique.

La mise en culture conduit généralement au cours du temps à une baisse plus ou moins rapide des MOS. En zone tempérée (Loveland, 2003) comme en zone tropicale (Feller et Beare, 1997), il est généralement admis qu'en raison des nombreuses propriétés des MOS sur la fertilité des sols, qu'il existe généralement un niveau minimal pour une région donnée et pour une culture principale, un niveau de MOS à maintenir pour garantir une productivité, comme appelle le seuil critique en MOS. Ce niveau peut-être défini comme un seuil à ne pas dépasser au risque de compromettre la durabilité.

En zone tropicale semi-aride dominée par des sols à texture sableuse, nous pouvons donner une estimation de ce seuil critique en MOS (Feller et Beare, 1997) :

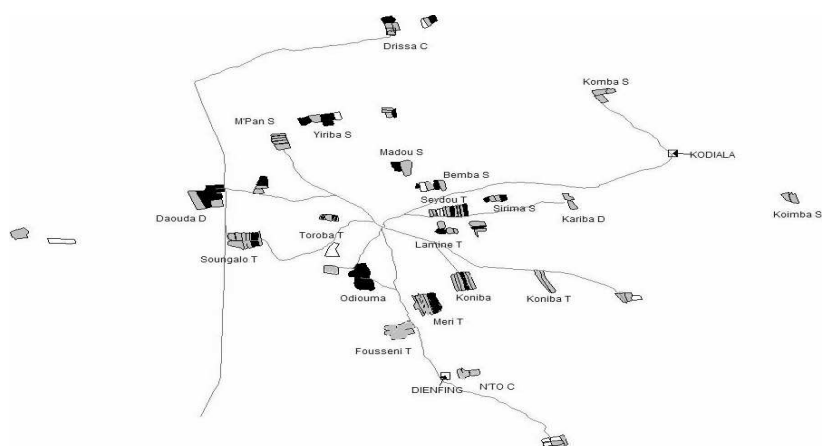
$$C_{\text{critique}} = (0.32 * (\% A + LF) + 0.87) / 10 \dots\dots\dots(1)$$

Avec  $C_{\text{critique}}$  = % en C sur 0-10 cm

% A = teneur en argiles

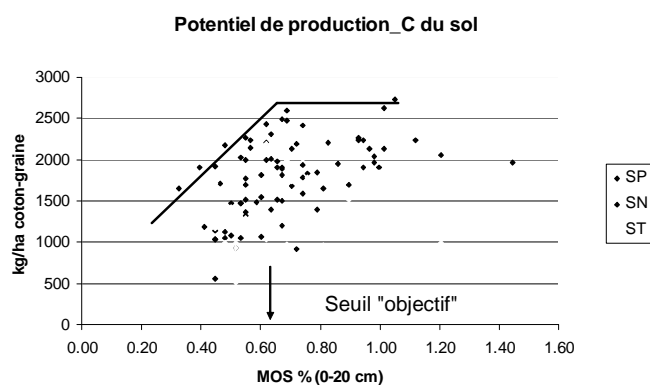
% LF = teneur en limons fins

Un exemple d'études est donné au niveau de la Figure 3 qui présente un SIG mentionnant dans un terroir donné le statut organique du sol par rapport à un seuil de MOS donné.



**Figure 3. Cartographie dans un terroir géoréférencé du statut organique des sols des parcelles par rapport à un seuil théorique en MOS déterminé par test granulométrique (d'après Autfray et al., 2007) ; en blanc, parcelles en dessous du seuil critique ; en gris parcelles autour du seuil critique ; en noir parcelles au-dessus de 25% du seuil critique, soit un niveau optimal théorique.**

Ce seuil critique peut également être obtenu grâce à un réseau de parcelles où l'on associe rendement et teneur en MOS (Figure 4).



**Figure 4. Relation pour une région donnée entre rendement de la culture de base et le taux en matières organiques du sol ; exemple du Nord-Cameroun et du Coton (d'après Crétenet et al., 2007).**

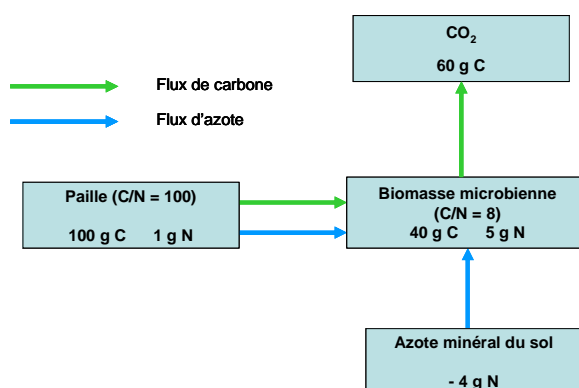


## 2. OBJECTIFS DE L'ETUDE : Modalités du stockage en C et N sous SCV ; implications agronomiques

Il est généralement admis que le stockage en C sous SCV est effectif sur les premiers centimètres de sol. Le stockage de C sous une plus grande profondeur dans le cadre d'une Agriculture de Conservation est parfois sujet à discussion (Lal, 2010). Pour autant au Brésil, berceau des vrais SCV, la relation entre stockage en C et apports en C par les résidus sous SCV est clairement montrée sur des parcelles âgées de 13 années conduisant par rapport aux systèmes conventionnels à une augmentation en C du sol à l'échelle du profil (Bayer et al., 2006).

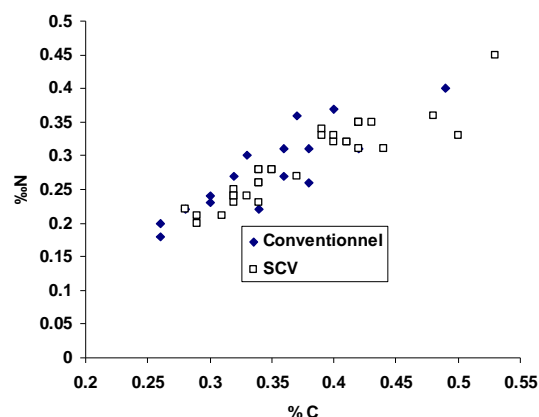
C'est pour cela que dans cette étude nous avons décidé d'étudier le stockage jusqu'à 40 cm de profondeur sachant qu'en agriculture manuelle ou attelée cela semble largement suffisant, du fait d'un travail mécanique limité souvent aux 15 premiers centimètres de sol.

Nous avons associé au stockage de C celui de N car parce que les deux cycles de ces éléments sont associés (Figure 5) et que N est un indicateur à la fois de contrainte potentielle en terme de stockage en C, notamment sous ces systèmes à faible niveau d'intrants, et également une source potentielle en nutriments pour les plantes. A court terme on peut estimer sous SCV que l'N puisse être limitant et qu'à long terme la reconstitution du stock organique puisse contribuer à fournir de l'N en continu aux plantes.



**Figure 5. Illustration du couplage des cycles C et N au niveau du devenir théorique d'un apport de paille au sol : dans ce cas cela conduit à une immobilisation en N du sol (d'après Nicolardot et al., 1997).**

On peut donc estimer qu'il faille environ 1 unité d'N pour stocker 8 unités de C selon le rapport C/N moyen des micro-organismes estimé à 8 (Figure 5). Cet ordre de grandeur permet ainsi d'estimer le bilan azoté d'un agrosystème en fonction des restitutions organiques appliquées, des fertilisations N et également de l'N de l'air fixé par les légumineuses. L'inconnue dans ce bilan reste néanmoins les pertes par lixiviation sous forme de nitrates qui peuvent être importantes.



**Figure 6. Relation entre teneur en C et en N pour du sol en surface en système conventionnel et en SCV. données Projet SCV Mali**

En général il existe une bonne relation entre la teneur en C et en N au niveau du sol, comme l'illustre les données de la Figure 6, issues d'expérimentations réalisées au Mali à la fois en systèmes conventionnels et en systèmes SCV.



**Les 3 systèmes comparés : Semis-Direct (à gauche) / Labour (au milieu) / Semis-Direct à Couverture Végétale (à droite)**

**Figure 7. Les systèmes comparés au niveau de l'étude.**

Au niveau de cette étude nous travaillerons sur la comparaison de 3 systèmes de culture, le semis-direct sans couverture végétale avec lequel un travail du sol est effectué en cours de culture (Figure 7), le labour, généralement réalisé à plat avec une charrue et enfin le SCV, innovation introduite par le Projet PCS-ESA depuis 2001.

### 3. METHODOLOGIE

#### 3.1 Modélisation de l'évolution des teneurs en C du sol au cours du temps ; notions de $k_1$ et $k_2$

Le modèle monocompartimental de Hénin-Dupuis (Figure 8) est adapté au suivi de l'évolution dans le temps des MOS à la fois en Systèmes Conventionnels. Deux formules sont utilisées, la première qui exprime la variation de stock en effectuant un bilan à l'échelle de l'année entre les apports en C organique (parties aériennes et racinaires des résidus de cultures) et les pertes du sol par minéralisation et érosion :

$$\Delta \text{ Stock C} = \text{C apports} * k_1 - \text{C sol} * k_2 \dots\dots\dots(2)$$

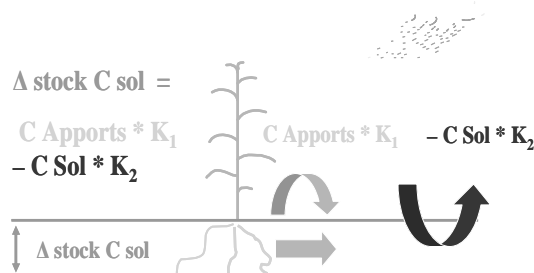
Avec  $\Delta \text{ Stock C}$  = variation de stock en C du sol à une profondeur donnée pendant un temps donné

C apports = la quantité de C des apports au sol

$k_1$  = le coefficient d'humification de ces apports

C sol = la quantité de stock au départ à la même profondeur

$k_2$  = le coefficient de minéralisation du sol (en incluant l'érosion)



**Figure 8. Le Modèle Hénin-Dupuis : la variation des stocks en MOS ou C à un temps donné est égale au bilan des pertes par minéralisation et érosion ( $-C \text{ Sol} * k_2$ ) et des gains par les apports ( $C \text{ Apports} * k_1$ ).**

La formule de base qui définit le stock du sol à un temps  $t$  :

$$C_t = C_0 * e^{-k_2 t} + k_1/k_2 * A * (1 - e^{-k_2 t}) \dots\dots\dots(3)$$

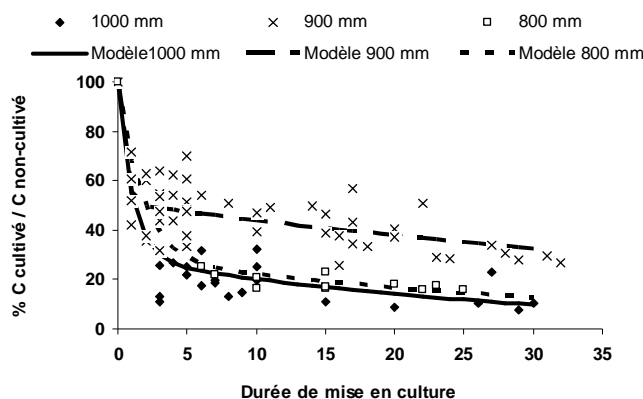
Avec  $C_t$  = stock C à un temps  $t$   $C_0$  = stock de départ

$k_2$  = coefficient de minéralisation du sol (avec l'érosion)  $A$  = quantité C apporté

$k_1$  = coefficient d'humification

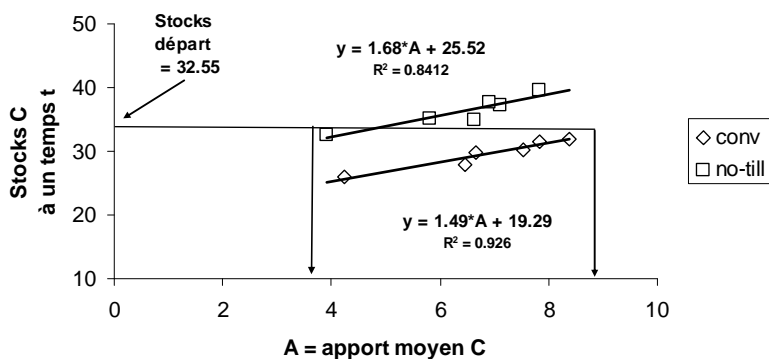
En systèmes conventionnels une étude synchronique sur un réseau de parcelles permet au cours du temps de modéliser les pertes (voir Figure 9), par minéralisation et érosion, en prenant comme base le taux initial en zones non-cultivées. La modélisation d'évolution du taux ou des stocks des matières organiques eu surface obéit (i) soit un modèle mono-compartimental si on ne possède pas une référence ancienne de zone totalement protégée (ii) soit un modèle à double-compartiment qui a met en évidence 2 compartiments des MOS, un labile et un résistant. On aboutit ainsi à définir 2 coefficients de minéralisation des sols, celui étant souvent le plus utilisé étant le deuxième ( $k_2$ ) avec le modèle de minéralisation du sol suivant, incluant également les processus érosifs :

$$C_{\text{sol cultivé}} / C_{\text{sol non cultivé}} = C_{\text{CR}} * e^{(k_{\text{CR}} * \text{années})} + C_{\text{CL}} * e^{(k_{\text{CL}} * \text{années})} \dots\dots(4)$$
 Avec  $C_{\text{sol cultivé}} / C_{\text{sol non cultivé}} = \%$  de C en sol cultivé par rapport à un sol de référence non-cultivé  
 $C_{\text{CR}}$  = Carbone Compartiment à temps de renouvellement Rapide  
 $C_{\text{CL}}$  = Carbone Compartiment à temps de renouvellement Lent  
 $k_{\text{CR}}$  = coefficient de minéralisation de C CR  
 $k_{\text{CL}}$  = coefficient de minéralisation de C CL ( $k_{\text{CL}}$  = estimation du  $k_2$ )



**Figure 9. Exemple d'étude synchronique des stocks en C du sol à un instant t; elle permet une estimation du  $k_2$  (cas ici avec 2 coefficients). Etude de cas en zone tropicale sèche, d'après Autfray et al., 2010.**

Il est possible à partir du moment où l'on possède un réseau de parcelles en SC et AC de déterminer ces propres coefficients  $k_1$  et  $k_2$  pourvu qu'il y ait une large gamme en AC d'apports moyens par les résidus de culture et les plantes de couverture. Une étude de cas est donnée dans la Figure 10 au bout de 13 années d'applications de 6 couples de systèmes en SC et AC. La première étape est la mesure des coefficients des droites de régression entre l'Apport moyen en C annuel et le stock mesuré au bout de 13 années, auquel on rajoute sur la figure le stock au départ avant la mise en culture.



**Figure 10. Détermination pour un sol sur 0-10 cm des  $k_1$  et  $k_2$  sur un dispositif ayant 13 années de suivi : étude cas en zone sub-tropicale humide (Brésil, 20°C, 1440 mm), d'après Bayer et al., 2006.**

Les transformations mathématiques de l'équation de base (3) permettent de calculer d'abord  $k_2$  puis  $k_1$  avec :

$$k_2 = (\ln(\text{Stock départ}) - \ln(a)) / t \dots\dots\dots(5)$$

$$k_1 = (k_2 * b) / (1 - e^{(-k_2 t)}) \dots\dots\dots(6)$$

Avec  $t = 13$  années

**Tableau 2. Données d'entrée (stock départ, a et b) et de sortie ( $AC_0$ ,  $k_2$  et  $k_1$ ) de l'exemple donné dans la Figure 6 ; a, b et  $AC_0$  (quantité d'apports pour avoir le stock de départ) sont déterminés graphiquement ; d'après Bayer et al., 2006.**

Systèmes de culture	Stocks Départ (T/C/ha)	a	b	$AC_0$	$k_2$	$k_1$
Conventionnel	32.55	19.29	1.49	8.84	0.040	0.147
SCV	32.55	25.52	1.68	3.92	0.019	0.146

Nous remarquons dans le Tableau 2 que le  $k_2$  est 2 fois plus élevé en SC qu'en AC et que le  $k_1$  est le même.

Au niveau de cette étude, par simplification, nous n'avons abordé que les apports par les parties aériennes, alors qu'il est admis que les systèmes racinaires par leur proximité avec le sol peuvent contribuer de manière très significative, au rehaussement du statut organique des sols, notamment dans le cas de graminées pérennes.

### **3.2 Qualités des apports par les résidus : une estimation du $k_1$**

La mesure du  $k_1$  peut également être estimée en réalisant des analyses biochimiques (Linères et Djakovitch, 1993). La quantité de C stable produite pour un apport donné peut-être évaluée en réalisant une analyse biochimique de type Van-Soest qui revient à estimer les matières organiques difficilement assimilables par les micro-organismes, c'est-à-dire celles qui appartiennent aux molécules organiques les plus complexes comme la lignine. Un exemple est donné dans le Tableau 3 où nous avons reporté à la fois les teneurs en Matières Minérales (MM= 100 – MO), la quantité de C totale (stable pour les résidus de culture), la teneur en N ainsi que la teneur en C stable. On remarquera que les valeurs du sorgho, du mil et des pailles de brousse présentent des quantités de C stable comparables aux valeurs de  $k_1$  estimées dans le Tableau 2.

**Tableau 3. Estimation du C stable par type d'apport ; une approche du  $k_1$  du modèle Hénin-Dupuis.**

type apport	nombre échantillons	matières minérales	C	N	C stable / tonne produit
coton	9	5.2	45.4	0.61	240
maïs	9	7.2	43.9	0.46	116
sorgho	13	4.1	46.2	0.21	151
crotalaria	1	4.4	44.9	1.36	229
brachiaria	1	8.1	42.1	0.73	116
mucuna	1	5.1	45.0	1.98	232
pailles brousse	2	5.3	45.1	0.46	138
mil	6	5.8	45.5	0.48	161
fèces	2	21.1	39.7	1.50	256

### **3.3 Justification des situations choisies pour les évaluations de stocks en C du sol**

Concernant le thème central de comparaison des modalités de stockage des sols sous SCV nous avons travaillé avec 3 types de milieux différents, les Zones Non Cultivées (ZNC) (Figure 11), les Sites Expérimentaux (SE) et les Expérimentations en Milieu Paysan (EMP) (Tableau 4).

L'âge des parcelles en SCV est au moins de 6 années, avec en général des parcelles mises en place depuis 2002, soit 8 années.



**Figure 11. Exemple de Zone Non Cultivée : une situation intéressante pour estimer à la fois l'état d'origine du stock organique du sol et un potentiel de stockage en SCV.**

Concernant le deuxième thème sur les performances SCV nous travaillerons sur des parcelles uniquement mises en place sur les SE depuis 3 années. Ce choix s'est réalisé avec l'idée de voir si une restauration plus rapide était possible avec des systèmes incluant des années uniquement dédiées aux plantes de couverture, c'est-à-dire avec un haut potentiel de production en biomasse (Figure 12). Dans ce cas nous avons décidé de se concentrer sur les horizons superficiels en distinguant 0-5 et 5-10 cm et en se limitant aux 20 premiers centimètres. Le témoin dans ce cas peut-être considéré comme étant les SCV testés précédemment (Tableau 4).



**Figure 12. Exemple de biomasse produite sur un SCV restaurateur ; thème Performance sur SCV de 3 années.**

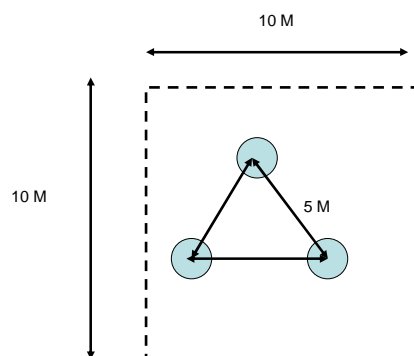
**Tableau 4. Situations choisies pour les prélèvements de juillet 2010 sur le dispositif PCS-ESA.**

Thème	Type dispositif	Lieu	Systèmes	Rotation	Niveau de fertilité	Profondeur de prélèvement (nombre échantillons)	Nombre de situations	Nombre d'échantillons
Performances SCV (2007 à 2010 : 3 années)	Sites Expérimentaux	Zouana	Divers	Diverses	F1 ou F2	- 0-5 cm (9)	5	135
		Windé-Pintchoumba				- 5-10 cm (9)	8	216
		Pitoa				- 10-20 cm (9)	3	81
Stockage C comparé entre Systèmes conventionnels et SCV (2002 à 2010 : 8 années)	Zones non-cultivées	Mozongo	-	-	-		2	60
		Kaélé					2	60
		Sirlawé					2	60
		Windé-Pintchoumba					3	90
	Sites Expérimentaux	Zouana	- Semis-direct	- Coton / Sorgho	-	F1 : dose vulgarisée / 2 - F2 : dose vulgarisée	8	240
			- Labour					
			- SCV base Brachiaria					
			- SCV base Crotalaire					
		Windé-Pintchoumba	- Semis-direct	- Coton / Mais - Coton / Sorgho	-	F1 : dose vulgarisée / 2 F2 : dose vulgarisée	16	480
			- Labour					
			- SCV base Brachiaria					
			- SCV base Crotalaire					
	Expérimentation en Milieu Paysan	Manbang (2 parcelles)	-	Coton / Sorgho	-	F1	4	120
		Mbozzo (1 parcelle)					2	60
		ETA (1 parcelle)					2	60
		Koza (4 parcelles)					8	240
		Sirlawé (2 parcelles)					4	120

### 3.4 Méthodologie de prélèvements

#### - Choix des situations de prélèvements

On identifiera pour chaque situation (voir Tableau 4 l'ensemble des situations) une zone de  $100 \text{ m}^2$  homogène (Figure 13), soit pour les sites d'expérimentation la majeure partie de la parcelle, soit une zone choisie au hasard pour les EMP. On lancera un premier cercle en plastique de 71 cm de diamètre à partir duquel en choisissant l'emplacement de deux autres cercles à 5 m du premier de manière à ce que les 3 cercles forment un triangle équilatéral. Une situation correspondra donc à 3 cercles.



**Figure 13. Unité de base de prélèvement de  $100 \text{ m}^2$  : commune à toutes les situations et modalités de choix des 3 placettes de prélèvements.**

Sur chaque cercle sera prélevée en SCV la biomasse restante du paillage en évitant de prendre les adventices. Le paillage des 3 cercles sera rassemblé pour former une seule biomasse qui sera séchée et pesée soit pour 3 cercles environ  $1.15 \text{ m}^2$ .

Au niveau de chaque cercle on fera au centre un seul prélèvement sur 0-40 cm tous les 10 cm ou sur 0-20 cm, 0-5, 5-10, 10-20 cm pour l'estimation de la densité apparente avec un cylindre de  $100 \text{ cm}^3$ .

Au niveau de chaque cercle on fera ensuite 3 prélèvements pour les déterminations de C soit sur 0-40 cm soit sur 0-20 cm (Figure 14).



**Figure 14. Une des 3 placettes de prélèvement : au centre prélèvement de la densité apparente et sur les 3 bords prélèvement pour la mesure du C.**





**Figure 15. Tarière utilisée sur 0-40 cm à la fois pour les prélèvements en C et les mesures de densités apparentes : une précision dans les prélèvements et une facilité d'exécution sur sols secs.**



**Figure 16. Tarière utilisée pour séparer en surface 0-5 et 5-10 cm ; elle permet également comme ici sur la photo une estimation de la DA sur 2.5 à 7.5 cm.**

#### - Méthode de prélèvements échantillons pour analyse C et texture

Sur l'ensemble des échantillons (2022 au total ; voir Tableau 4) le contenu de chaque profondeur est transféré au champ dans un sac plastique, soit entre 100 et 180 gr de sol (moins si masse de gravillons importante). Un code échantillon à 9 caractères, 4 lettres et 5 chiffres permet de localiser précisément l'endroit de prélèvement.

Le sol est mis à sécher à l'air. Le sol est tamisé manuellement et doucement à 2 mm, en enlevant les débris végétaux et le refus à 2 mm.

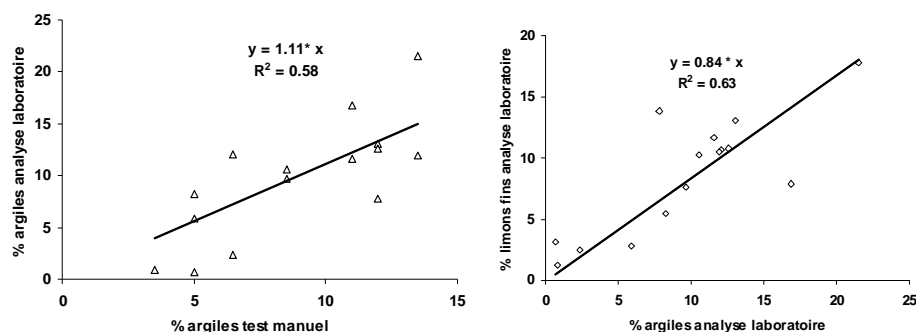
Une aliquote de 40 gr de sol sec est prélevée pour envoi au laboratoire IRD pour dosage du C au NIRS l'IRD. Le reste est conservé.

La texture est déterminée par test manuel (voir Tableau 5). Elle sera effectuée sur un échantillon moyen constitué par le mélange des 9 prélèvements d'environ 10 gr (petite cuillère) soit 90 gr rassemblant une situation pour les profondeurs 0-5, 5-10, 0-10, 10-20, 20-30, 30-40. Sur 30-40 nous aurons uniquement le mélange de 3 prélèvements.

**Tableau 5. Méthode d'estimation manuelle sur de la terre mouillée à l'eau du % d'argiles (d'après Kanté *et al.*, 2003 et Autfray *et al.*, 2010).**

Test manuel	Quantité d'argiles	Type de terre
On ne pas faire de motte	2% maxi	Sableuse = Terres légères
On fait une motte	3.5%	
On fait une boule	5%	
On fait un cylindre qui se brise dès qu'on le touche	6.5%	
On fait un cylindre qui se brise à un angle de 30°	8.5%	
On fait un cylindre qui se brise à un angle de 60°	11%	Sablolimoneuse = Terres franches
On fait un cylindre qui se brise à un angle de 90°	12%	
On fait un cylindre qui se brise à un angle de 120°	13.5%	Limonosableuse à argileuses = Terres lourdes Argileuses
On fait un cylindre qui se ferme complètement°	17. 5%	
On fait un cylindre dont les bouts se croisent	> 25 %	

Sur la profondeur 0-10 cm on sélectionnera 20 échantillons au hasard sur les 8 classes de texture possibles (3.5 à 17.5%), soit 2 à 3 échantillons de chaque classe sur lesquels on prendra 100 gr de sol sec qui seront conservés pour une analyse granulométrique au Cirad. Pour estimer la teneur en argiles et limons fins sur les 2022 échantillons, une corrélation sera faite d'abord entre la teneur en argiles donnée par le test manuel et l'analyse en laboratoire et ensuite par la teneur en limons fins estimée avec sa corrélation avec la teneur en argiles faites au laboratoire (Figure 17).



**Figure 17. Corrélation du taux d'argiles par test manuel et le taux d'argiles au laboratoire et corrélation entre le taux d'argiles**

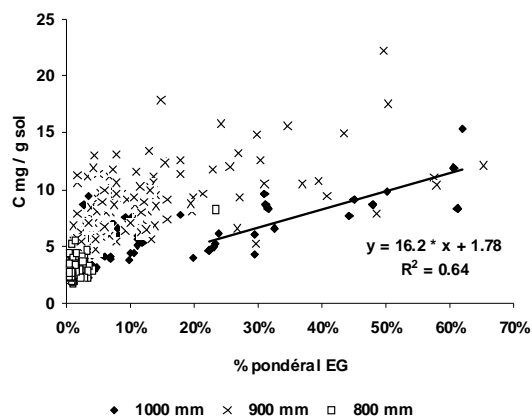
#### - Calibrage C NIRS et C méthode CHN

Nous avons retenu 100 échantillons pour le calibrage de ces 2 méthodes. Le mieux c'est de prendre à partir des résultats de texture des 51 situations de la thématique « Stockage C » 11 situations différenciées par leur texture sur lesquelles on prendra les 3 cercles à 3 profondeurs 0-10, 10-20, 20-30 en incluant au moins 1 situation de Zone non-cultivée par Lieu, soit 3 situations de Zone non-cultivée et 8 situations de SE ou EMP. Cela permettrait de calibrer dans la plus large gamme de teneur en C (des plus élevées en surface sur les Zones non-cultivées aux plus faibles sur les parcelles à texture sableuse et la profondeur 20-30 cm). Les échantillons seront broyés au tamis à porcelaine à 200  $\mu$ m c'est en forçant l'écrasement notamment de tous les grains grossiers pendant un temps identique de 10 minutes par échantillons. Ces 100 échantillons seront d'abord analysés au CHN du Cirad puis au NIRS de l'IRD. Une comparaison finale pour un calibrage de la méthode NIRS sera faite entre les données C et N sur échantillons broyés du CHN et les données C et N sur échantillons broyés et non-broyés du NIRS.

- Méthode de mesures des densités apparentes, du poids et du volume des Eléments Grossiers (EG ; > 2 mm)

Sur l'ensemble des échantillons réservés pour la densité apparente (2022/3), soit 674 au total, les sachets sont séchés à 105° pendant 24 h, puis pesés immédiatement après séchage pour éviter une légère humidification.

Ensuite les échantillons sont passés sous l'eau pour le recueil du refus à 2 mm (EG). Les EG sont remis dans les sachets et puis séchés à l'air libre et ensuite pesés. On déterminera ensuite le % pondéral de chaque échantillon en faisant le rapport « poids sec EG / poids sec sol total ». On sait que pour une teneur pondérale supérieure à 20% il risque d'y avoir une concentration en C dans la terre fine (Figure 18).



**Figure 18. Illustration de la concentration en C des sols sous l'effet de la présence des EG à partir d'un seuil pondéral de 20%.**

On note ensuite le type d'EG entre 3 classes : ronds (rouge, marron, noir ; ferrugineux), anguleux (blanc ; quartz), indéterminés (couleurs diverses). Pour chaque situation réunissant des mêmes gravillons on fera des lots d'environ 1 kg dont on déterminera le volume (400 cm<sup>3</sup> prévus pour une densité apparente des gravillons de 2.5).



**Figure 19. Les sols gravillonnaires : représentés dans notre étude sur le seul site de Zouana**



**Figure 20. Méthode de mesure de la densité apparente sur sol gravillonnaire en utilisant un volume de sable donné.**

Sur les sols gravillonnaires (voir Figure 19) (SE de Zouana) une méthode particulière sera utilisée pour estimer la densité apparente (Figure 20).

#### - Couleur code Munsell

On déterminera la couleur du sol humide on code Munsell pour un profil type (0-40 cm) de manière à caractériser le type de sol voir les plusieurs types de sols par localité.

#### - Conservation des échantillons

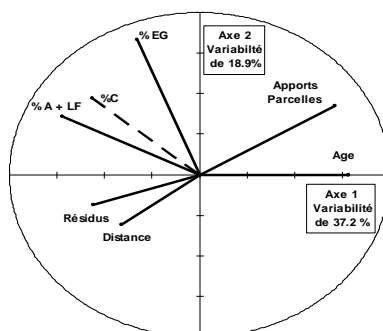
Le reste des échantillons sera conservé dans des sacs scellés et solides pour des études ultérieures.

### **3.5 Ensemble des données relevées**

Sur l'ensemble des situations on aura un minimum de jeu données qui pourraient permettre une analyse plus fine des résultats (voir Tableau 6).

L'obtention de données quantitatives permettrait ainsi de rassembler l'ensemble des données pour les traiter en analyse multifactorielle.

Un exemple est donné dans la Figure 21 suivante.



**Figure 21. Analyse multifactorielle montrant les principaux facteurs corrélés avec la teneur en C sous systèmes conventionnels au Mali.**

**Tableau 6. Informations collectées en relation avec les prélèvements effectués.**

Données	Type valeur	Echelle	Justification
N°	chiffre	1 à 2022	Code laboratoire
Village (EMP)	lettre	A à Z	Identification de l'échantillon
Lieu (Sites expérimentaux)		A à Z	
Propriétaire ou répétition		L= labour S = semis-direct C = SCV	
système		S= coton-sorgho M= coton maïs	
rotation		1 ou 2	
fertilisation	chiffre	1 à 3	
cercle		1 à 3	
répétition		1 à 3	
profondeur		0-5 / 5-10 / 0-10 / 10-20/ 20-30 /30-40	0 à 40 cm par tranche de 10 cm sur parcelles < 2005 0-5 / 5-10 / 10-20 sur parcelles = > 2007
code parcelle	Lettre et chiffre	Non	A partir des plans existants au niveau du Projet
secteur	lettre	non	Identification d'un poste pluviométrique
isohyète 1979-2009	chiffre	700 à 1300 mm	Mêmes périodes de référence pour le cumul des pluies
gps latitude	En degrés		Report sur fonds de cartes Pérennisation des prélèvements
gps longitude			
altitude GPS	En m	100 à 800 m	Localisation sur toposéquence et carte IGN
unité morphopédo	lettre	Différentes unités	A relier avec couleur et granulométrie
%couverture sol paillage	chiffre	0 à 100%	descriptif
poids paillage sec		On rassemblera les cercles pour une situation donnée ; les 3 cercles font 1.15m <sup>2</sup>	Biomasse C à inclure dans les stocks sous SCV
test manuel argiles		10 classes possibles ; 8 classes à retenir entre 3.5 et 17.5%	Corrélation test manuel / laboratoire à établir pour une teneur en argiles entre 3.5 et 17.5%
%argiles+limons fins estimé		Argiles estimé par test manuel et validé par corrélation test manuel / analyse laboratoire Cirad Limons fins estimés par la corrélation argiles et limons fins faite au laboratoire	Facteur de sol jouant fortement sur la teneur en C
année mise en culture au départ		Par enquête ; au-delà de 30 années la précision sera moins grande (5 à 10 années)	Facteur jouant sur l'état du statut organique au départ Cette donnée pourrait permettre de déterminer le taux de perte en C au cours du temps
cumul apport phosphore (P) départ par les engrais (au moins les 4 dernières années)		Par enquête ; en fonction de la rotation type, des apports d'engrais complexes et de leur concentration en P	Facteur jouant sur le potentiel de production de biomasse
cumul apport fumure organique (au moins les 4 dernières années)		Par enquête	Facteur jouant sur le potentiel de production de biomasse
date mise en culture essai	année	2001 à 2007	Donnée disponible au niveau du projet
cumul apport P par les engrais depuis début essai	chiffre	2001 à 2010 Par les engrais	Donnée disponible au niveau du projet
cumul apport fumure organique depuis début essai	chiffre	En tonne / ha	Donnée disponible au niveau du projet ; on cherchera à estimer la proportion de fèces dans l'apport organique
%C NIRS	chiffre	Gamme possible entre 0.1% (sol dégradé en profondeur) et 5 % (en surface sur situation non-cultivée)	Analyse du laboratoire IRD ; la validation sera faite sur échantillons broyés et non-broyés avec les analyses CHN faites au Cirad
Cumul biomasse départ-2009 (MS)	chiffre	Résidus de culture et plantes de couverture	Donnée disponible au niveau du projet
estimation teneur C biomasse	chiffre	Peu variable entre 40 et 47%	Données estimées parcelles obtenues au Mali
estimation C stable résidus	chiffre	116 kg à 240 kg par tonne d'apport	
estimation teneur N	chiffre	0.21% à 1.98%	

## 4. PERSPECTIVES

### 4.1 Valorisations envisagées

Nous aurons deux rapports de stage, celui de M.Passale et celui de B.Saignant qui valoriseront cette étude. Le premier portera directement sur cette thématique de stockage en C comparé entre les différentes situations décrites précédemment et le deuxième comme un indicateur de performance des systèmes.

Il est possible également de faire des articles dans des revues agronomiques nationales ou régionales pour une large diffusion.

Des rédactions d'articles dans des revues spécialisées, type Etude et gestion des sols, ou à comité de lecture, sur des aspects plus fondamentaux ou méthodologiques, pourront être réalisées.

### 4.2 Référentiel profils parcelles géoréférencées

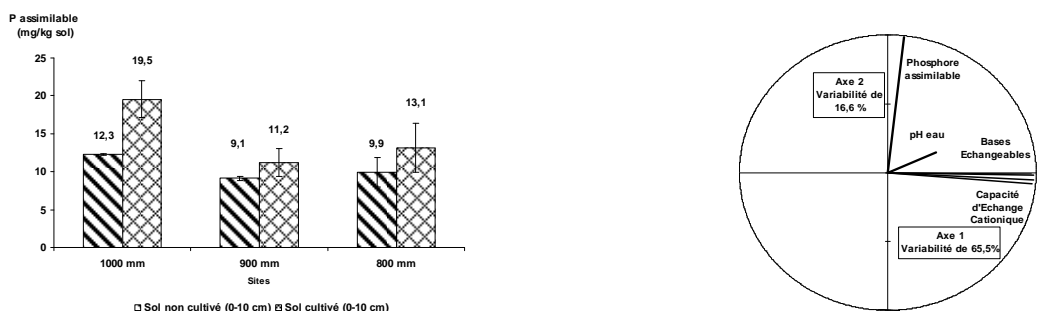
L'intérêt est aussi de créer un référentiel sur l'évolution sur le long terme des sols avec la possibilité de revenir au même endroit avec la même méthodologie refaire des prélèvements grâce au géoréférencement des différentes situations prélevées. La conservation d'échantillons de sol au Cameroun sera donc faite.

Il semble ainsi dans 5 années de faire un nouveau bilan en suivant le même protocole de prélèvements.

### 4.3 Elargir le diagnostic sol

Dans le souci d'être au plus près d'un conseil agronomique, il conviendrait d'élargir ce diagnostic du statut organique du sol par des études au niveau cultural en relations avec les propriétés physiques et chimiques.

Au niveau de la couche superficielle de sol il paraît opportun sur les parcelles anciennes de relier le statut organique des sols aux disponibilités en phosphore assimilable qui peuvent évoluer de façon opposée au sens (Figure 22) où l'application continu d'engrais enrichi en phosphore (complexe coton et céréales fournis par la société cotonnière à crédit) peut contribuer à un enrichissement en cet élément sur le long terme du fait de sa faible mobilité, alors que la dégradation organique du sol se poursuit. Ce paradoxe a été montré au Mali, avec peut-être une première explication du phénomène de baisse des rendements en coton accompagnée par une augmentation des productions en céréales : hypothèse de plus grande sensibilité du coton au statut organique des sols du fait de la lixiviation des cations, alors que les céréales répondent généralement très bien à la fertilisation phosphorique.



**Figure 22. Illustration de la complexité de la notion de fertilité des sols : le C n'est pas relié au phosphore assimilable.**

## 5.BIBLIOGRAPHIE

P.Autfray, F.Sissoko, G.Falconnier, M.Doumbia, P.Guillaume. Carbone organique et phosphore assimilable, deux indicateurs essentiels de la fertilité des sols en zone cotonnière du Mali. Cahiers de l'Agriculture. Soumise.

P.Autfray, F.Sissoko, G.Falconnier, M.Doumbia, P.Guillaume. Quelles pratiques de gestion de la fertilité organique pour les sols cultivés en zone cotonnière du Mali ? Base ; Finalisée à soumettre.

Balarabé O., Alifa M., Dourwé G., Madam Dogo A., Oumarou A.Oumarou B., 2010. Rapport d'activités premier semestre 2010 de la Recherche-Adaptative. Projet PCS-ESA2, 31 p.

Bayer, Lovato, Dieckow, Zanatta, Mielniczuk, 2006. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. Soil and Tillage Research; 91; 217-226.

Crétenet M., 1994. Fertilité et fertilisation dans la région sud du Mali: du diagnostic au pronostic . Agriculture et Développement, 3 CIRAD, Montpellier, 4-12.

Feller and Beare, 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. Geoderma; 79; 69-116.

Lal R., 2010. Enhancing Eco-efficiency in Agro-ecosystems through Soil Carbon Sequestration. Crop Science, 50, 120-131.

Linères et Djakovitch, 1993. Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. INRA, 15 p.

Loveland, 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. Soil and Tillage Research, 70, 1-18.

Mary B, Guérif J. Intérêts et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques et de l'azote dans le sol. Cah Agric 1994; 3 : 247-57.

Naudin K., Goze E., Balarabe O., Giller K.E., Scopel E., 2010. Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: A multi-locational on-farm assessment. Soil and Tillage Research, 108, 68-76.

Nicolardot B., Mary B., Houot S., Recous S., 1997. La dynamique de l'azote dans les sols cultivés. Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, Reims, France, INRA, 87-103.

Sissoko F, Autfray P, Keita A, Konaté CM. Les SCV en zone cotonnière du Mali, pour résoudre quelques contraintes? In : Sodecoton Projet ESA ed. Agroécologie et Techniques Innovantes dans les Systèmes de Production Cotonniers. Maroua : Sodecoton ,2007.

## Annexe 1 Contextes terroirs montrant la diversité des situations EMP

Echelle terroirs				
	Laïndé Massa	Sirlawé	Kilwo	Tapi
<b>Système de culture</b>	Peu d'association. Pratique de rotation : Coton-arachide-maïs(sorgho) Coton-maïs(sorgho)	Monoculture prononcée du sorgho, fortes pratiques d'association céréale-légumineuse, abondance de légumineuses Coton-mil pénicillaire/mil rouge/sorgho/(maïs)-arachide Coton-céréale Céréale-arachide	Association céréale-légumineuse (sorgho niébé). Pratique de rotations	Pratique de rotation, peu d'association Coton-maïsCoton-arachide/niébéCoton-maïs-arachide/niébé
<b>Système d'élevage</b>	Campements d'éleveurs sédentarisés à proximité du village. Elevage de bovins et de petits ruminants.	Agro-éleveurs avec pâturages dégradés et réduits. Très nombreux bovins	Petit élevage de ruminants.Transhumants peu fréquents	Transhumants et sédentaires
<b>Rapport foncier</b>	Taux d'occupation de l'espace moyen. Assez grande surface, peu d'appropriation du foncier. Insécurité foncière	Taux de l'occupation de l'espace élevé Surface peu disponible, appropriation des terres, peu de contraintes inhérentes à l'insécurité foncière	Taux de l'occupation de l'espace élevé Saturation foncière.Terres rares, appropriation et location	Faible taux de l'occupation de l'espace.Grande surface. Appropriation des terres
<b>Aménagement de l'espace</b>	Pas de coordination des règles collectives de gestion	Gestion concertée des zones de pâturage par quartier : chaque quartier choisi une zone de pâturage réservée	Pas de coordination des règles collectives de gestion	Fort pouvoir traditionnel, relative mise en œuvre des règles de gestion
<b>Milieu humain</b>	Migration ancienne, faible densité, multi-ethnique (10 ethnies)	Autochtones, densité moyenne, ethnie Toupouri Bonne coordination des règles de gestion	Autochtones, forte densité, ethnie Mofou	Front pionnier, zone de migration récente, densité lâche, ethnie Mboum
<b>Scénario de diffusion</b>	Délimiter des zones spécialisées dans la production de fourrage et appuyer les éleveurs pour la mise en place des parcelles individuelles de production fourragère (en pur ou en association avec céréales) et de production du fumier, Récupérer les champs de	Appuyer l'organisation existante Introduire des arbustes fourragers sur les limites des parcelles, dans les aires de pâturages et sur les pistes à bétail, Création des blocs de culture Conseiller une entrée en SCV avec FO	Impliquer l'autorité traditionnelle pour une transhumance contrôlée (en partie déjà fait) Initier des règles communes de gestion. Intégrer tous les aspects de restauration de fertilité (Aménagement, FO, Végétalisation des berges)	Intéresser les éleveurs aux cultures fourragères Possibilité de faire des jachères en SCV



## - Matériel commandé pour l'étude

<b>matériel</b>	<b>code fisher</b>	<b>unité</b>	<b>coût uni ht</b>	<b>coût total ht</b>
balance portable	W21584	1	396	396
tamis inox 2 mm	2631K	2	88.7	177.4
bol porcelaine	W1741R	2	48.6	97.2
2 pilons	1741X	1	30.36	30.36
éprouvette	W22888	2	30.4	60.8
			<b>total</b>	<b>761.76</b>

## - Matériel amené dans le cadre de l'étude

<b>matériel</b>	<b>fabriquant</b>
Cerceau plastique de 70 cm de diamètre	Supermarché ou fabrication locale
Sachets résistants à haute température	France
Tarière cylindre profondeur	SDEC
Tarière cylindre surface	Brésil
Guide munsell de couleur des sols	USA